



GONÇALO MORAIS CONVERSA COM CARLES SIMÓ

Carles Simó é um nome incontornável na área dos sistemas dinâmicos. Defensor acérrimo de que tudo o que evolui ao longo do tempo é um sistema dinâmico e que teoria e prática devem formar um só corpo, recebeu inúmeros prémios e distinções e é desde 1975 professor da Universitat de Barcelona. A sua investigação centra-se nas áreas de sistemas dinâmicos, sistemas hamiltonianos, mecânica celeste, análise numérica dos sistemas dinâmicos e simulação de sistemas. Carles Simó parece um homem de outro tempo, com uma cultura vasta e profunda. Foi difícil, numa conferência com várias centenas de matemáticos, encontrar um local sossegado e em que a nossa conversa não fosse perturbada. Juntos encontramos um canto numa sala de arrumações. Neste local, encontramos a paz para uma conversa que se materializou na entrevista que agora apresentamos¹.



GONÇALO MORAIS
Instituto Superior
Engenharia, Lisboa
gmorais@adm.isel.pt

*En memòria dels temps en els que els homes eren homes
i escriuïen els seus propis programes.*

SIMÓ Vamos falar em espanhol, português, inglês, catalão, francês...

GONÇALO Falarmos em catalão será um pouco difícil, pois para lá de alguns nomes nada mais sei pronunciar. Vamos tentar uma mistura entre espanhol e português. Como é que começou o seu interesse por estudar matemática?

SIMÓ Na época em que fui para a universidade, os cursos de engenharia duravam sete anos. Havia um primeiro curso chamado Selectivo que durava um ano, um segundo curso chamado Iniciação e somente ao fim destes dois anos é que começavam os cinco anos do curso de

Engenharia propriamente dito. Estes dois primeiros cursos podiam ser feitos numa faculdade de ciências ou de engenharia. Ao fim destes dois anos comecei a fazer ao mesmo tempo o curso de Engenharia Industrial e o curso de Matemática. E fiz tudo de uma ponta à outra, sem pedir equivalências entre as diferentes disciplinas.

GONÇALO Estamos a falar de que ano?

SIMÓ Estamos em 63, ano em que comecei a tirar os cursos de Engenharia e de Matemática. A experiência foi muito interessante. De um lado eu tinha um curso com equações diferenciais, teoremas de existência e unicidade, bifurcações onde não se calculava quase nada. Do outro lado ficavam estupefactos com a possibilidade de alguém questionar a existência de uma solução. Exclamavam:

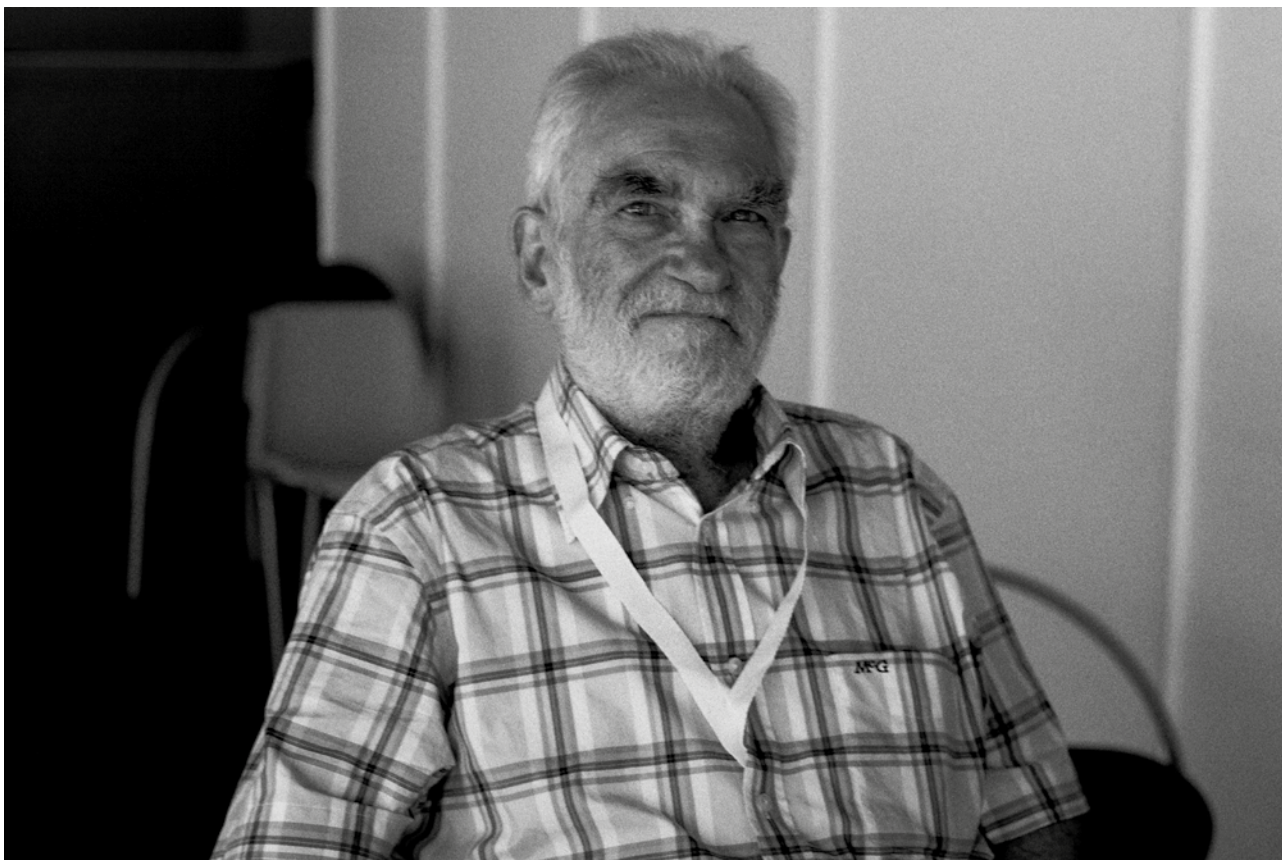
— Como poderá não existir solução?! Tu atiras uma pedra ao ar e ela cai! Tu aqueces o que quiseres e o calor propaga-se!

Assumiam que se para um determinado modelo não existia solução, então o modelo estaria necessariamente incorreto. E tinham certamente razão. A verdade é que calculavam muitas coisas. Fui formado neste bolo quantitativo de um lado e qualitativo do outro e, na realidade, compreendi desde então que não tinha de existir diferença entre as duas abordagens. Quando acabei o meu quinto ano de Matemática e o meu terceiro ano de Engenharia, comecei a trabalhar na minha tese de doutoramento em Matemática ao mesmo tempo que fazia o quarto e o quinto anos de Engenharia num único ano. Estávamos então em 1969.

Quando era pequeno interessava-me muito por coisas do espaço, por energia nuclear e reatores, coisas em que se usa muita matemática. Falei então com o catedrático de Astronomia (Juan José de Orús Navarro) e disse-lhe que gostaria de fazer a minha tese em mecânica celeste. Ele respondeu-me que de mecânica celeste sabia o necessário para lecionar os cursos, mas ele tinha pros-

seguido a sua investigação em dinâmica de galáxias. Se eu quisesse seguir um rumo diferente, ele não poderia ajudar-me. Assim, nos verões dos anos 69, 70 e 71 fechava-me na biblioteca do Instituto Poincaré em Paris, pois na altura algumas revistas não estavam disponíveis em Barcelona. Quando estava a trabalhar já em aspetos topológicos, de formas normais, soluções formais e por aí adiante, dei-me conta de que muitos problemas de mecânica celeste podem ser abordados do ponto de vista dos sistemas hamiltonianos. Por sua vez, estes podem ser vistos a partir do ponto de vista mais geral dos sistemas dinâmicos, quer sejam de dimensão finita ou infinita, quer sejam discretos ou contínuos. Questionei-me se poderia continuar esta escalada e concluí que não. Concluí, de facto, que os sistemas dinâmicos abarcam quase tudo o que se entende por ciências experimentais e tecnológicas. Esta visão materializou-se num seminário que desde 75 funciona interrutivamente em Barcelona.

¹ A deslocação a Madrid foi suportada pelo Centro de Matemática e Aplicações da FCT/UNL ao abrigo do programa PEst-OE/MAT/UI0297/2014.



GONÇALO Esses foram os anos finais do franquismo...

SIMÓ Bem... [longa pausa] Nesses anos não se podia falar catalão. Contudo, apesar de a maior parte das disciplinas funcionarem de facto em castelhano, havia já algumas que na realidade funcionavam em catalão. Atualmente existe uma certa liberdade e uma mistura muito grande de línguas por causa dos alunos estrangeiros. No dia 20 de novembro de 1975 morreu o Franco. No dia 21 não houve aulas mas todos os professores se apresentaram ao serviço com uma garrafa de champanhe [risos].

GONÇALO Parece-me merecido...

SIMÓ Sem dúvida!

GONÇALO Quem tem contacto com o seu trabalho e com o trabalho do grupo ao qual pertence fica imediatamente com a ideia de que existe um esforço muito grande da vossa parte em computar os modelos que estão a analisar. Ao mesmo tempo, alguns fenómenos dos sistemas dinâmicos são por natureza extremamente difíceis de computar. É preciso alguma dose de audácia para ligar as duas coisas, não?

SIMÓ O que há a fazer é perceber que métodos existem para resolver um determinado problema. Damo-nos conta rapidamente de que a maior parte dos métodos não é eficiente e então temos de inventar outros métodos. Por exemplo, fala-se em métodos de parametrização de variedades. Por volta de 78, estava a fazer cálculos sobre o Atractor de Hénon e usava os ditos métodos. Comecei então a colaborar com a Agência Espacial Europeia e tinha de explicar aos engenheiros que usando as variedades estáveis, instáveis e central poderíamos manobrar as naves com muito menos esforço. Ao mesmo tempo, estava também a trabalhar com um grupo de engenheiros químicos de Terragona e usávamos as mesmas técnicas para tratar os problemas de mecânica de fluidos. O que é a turbulência? Bem, não é mais do que uma cadeia heteroclínica de conexões de variedades invariantes. Existem, assim, muitos fenómenos que podem ser explicados através da geometria do espaço de fases. Para poderes usar esta ideia tens de a calcular e se não existe um método para calcular, tens de o inventar. Mas não basta inventar qualquer coisa que funcione. O que inventas só será útil se for eficiente, i.e., tens de obter os resultados numa quantidade razoável de tempo. Um amigo meu, o conhecido astrónomo Jacques Laskar, deu um curso de mecâni-

ca celeste e começou por explicar que cada operação que se faz em vírgula flutuante equivale a um erro. Então, o nosso objetivo será de fazer um cálculo com a precisão desejada e com o número mínimo de operações, não para que o computador processe tudo de forma mais rápida mas porque deste modo estamos a minimizar o número de erros.

GONÇALO E a Natureza encontra essas soluções em tempo real...

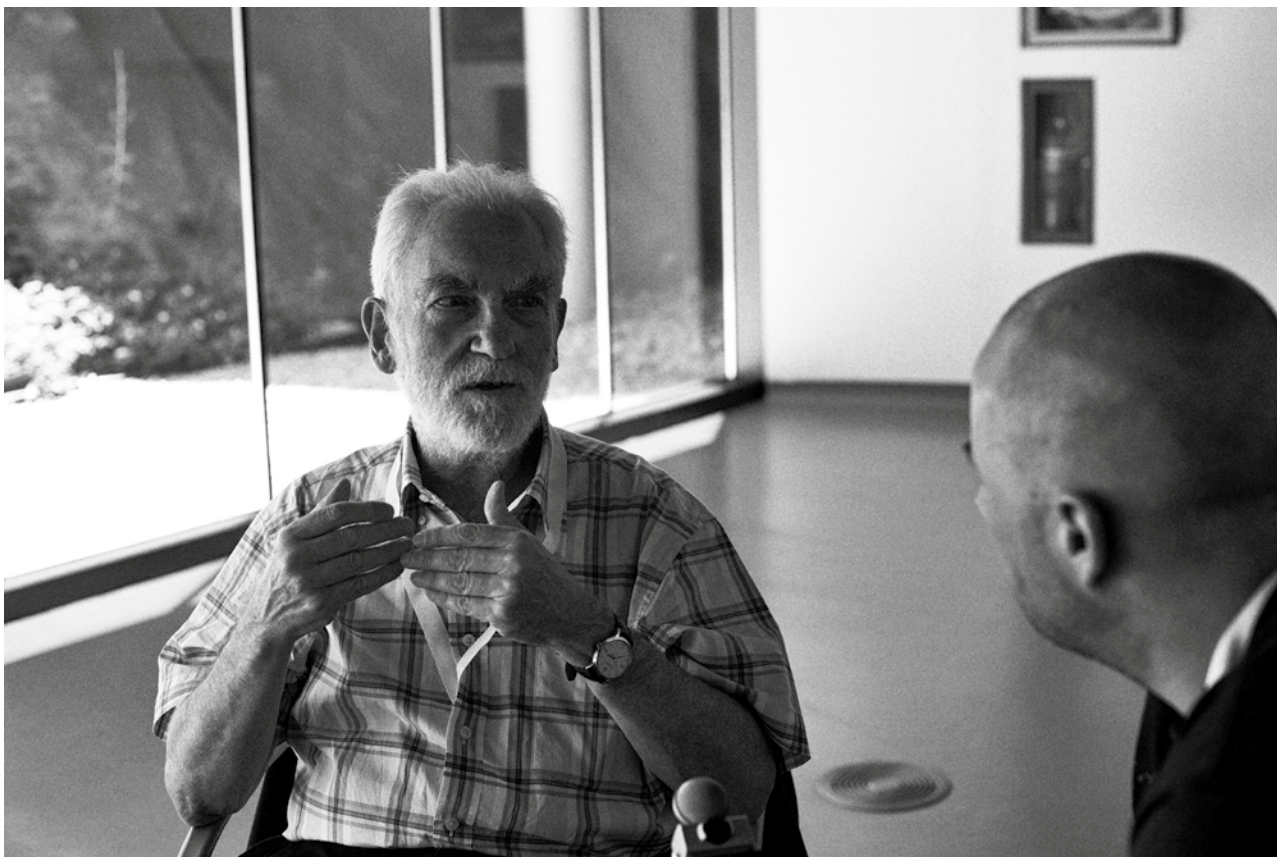
SIMÓ E à escala humana são estáveis, embora do ponto de vista teórico possam ser caóticas. Por exemplo, a órbita da Terra é instável mas quanto tempo demora até aparecer um comportamento que demonstre um comportamento caótico? Dez milhões de anos! Como se diz em castelhano, *muito tempo mo fiarás!* Na prática, isto significa que quando fazes os cálculos para uma missão espacial que durará vinte anos, podes na verdade assumir que as órbitas dos planetas são quasi-periódicas. Tens de ter cuidado em verificar que na vizinhança da nave não passará nenhum cometa. Nesse caso será necessário mais cuidado.

GONÇALO Uma das coisas mais fascinantes que li no seu trabalho foi uma dedução de um método numérico deduzido a partir da série de Taylor das soluções, em que para garantir a precisão necessária usa 16 parcelas do dito desenvolvimento.

SIMÓ Bem, todos os métodos numéricos eficientes para calcular os expoentes de Lyapunov ou para calcular mil milhões de iterações da aplicação de Poincaré são baseados nos métodos de Taylor...

GONÇALO Mas o que é mais curioso é que parece que voltámos...

SIMÓ ... ao início do século XIX! Há algo que se foi esquecendo ao longo dos anos: muitos cálculos podem ser feitos com a manipulação formal de séries de potências. Não se pode usar estes métodos para todo o tipo de equações, por exemplo se tiveres equações do tipo *stiff*. Mas numa enorme gama de equações podes usar ideias semelhantes aos métodos que usas para encontrar a solução da equação de Bessel para determinares os termos do desenvolvimento da série de Taylor da solução. Isto significa que tens de fazer um pouco mais de teoria antes de começares a calcular, mas existe um ponto em que



as coisas vão quase em paralelo. E quando o problema é muito complicado e não sabes por onde podes começar, fazer uma pequena simulação pode ser bastante útil.

Se o problema for realmente complicado, percebes rapidamente que não poderás usar um programa do tipo Mathematica ou Matlab para o simulares e tens de construir o teu próprio programa. Um antigo aluno meu, Angel Jorba, escreveu um artigo sobre métodos de Taylor e, como sabes, muitas vezes depois do nome do autor e antes do resumo do artigo coloca-se uma frase retirada de um livro ou em jeito de dedicatória. Ele pôs uma frase em catalão. O editor perguntou-lhe qual o significado da frase e ele disse-lhe: *Em memória dos velhos tempos, em que os homens eram homens e escreviam os seus próprios programas.* [Risos] O editor sugeriu-lhe que retirasse a frase, conselho que ele seguiu.

GONÇALO Numa conferência a que assisti disse que o principal objetivo do seu trabalho era diminuir a separação entre a teoria e a simulação. Considera-se bem-sucedido?

SIMÓ Acho que existe uma diferença cultural grande entre os matemáticos e, por exemplo, os engenheiros. O problema reside no facto de, como tu bem sabes, muitos problemas em matemática e sobretudo em análise se resolverem dizendo que dado um $\varepsilon < \varepsilon_0$ suficientemente pequeno existe um $\delta = \delta(\varepsilon)$ tal que se $|f(x)| < \delta$ então *esto, esto, esto...* A primeira pergunta que deveria formular-se é se eu tenho ε , como é que descubro o $\delta(\varepsilon)$? Eu acho que é importante mostrar o resultado, mas temos também de ser explícitos. A segunda questão: supondo que dado ε eu tenho um método para calcular $\delta(\varepsilon)$? Terceira: o resultado é válido para $\varepsilon < \varepsilon_0$. Quanto é que vale ε_0 ? Quarta pergunta: por que razão para valores inferiores a ε_0 não é válido o resultado? O que é que mudou? Eu acho que um matemático deveria colocar-se desde este ponto de vista porque de outra maneira sinto que estamos a enganar os clientes.

Todas as observações parecem mostrar que as trajetórias de Júpiter, Saturno, Urano e Neptuno em redor do Sol são quasi-periódicas. Isto não é verdade porque as

trajetórias da Terra, de Mercúrio e de Plutão são caóticas e influenciam as demais, mas se desprezarmos isto serão quasi-periódicas. Qual é a massa de Júpiter? Um milésimo da massa do Sol, e todas as outras muito menores. Poderemos aplicar a teoria KAM, que nos diz que se tivermos o Sol e quatro planetas com massas suficientemente pequenas as órbitas quasi-periódicas irão persistir? Parece que sim, mas quando vais fazer os cálculos percebes que para isso seria necessário que a massa dos planetas fosse inferior a um quilo! O resultado é muito interessante, mas de facto tem de ser melhorado. Quando calculas as coisas, percebes imediatamente a importância dos resultados.

Existem outro tipo de dificuldades, quando não podemos deduzir os nossos modelos a partir de princípios físicos gerais mas apenas dispomos de dados. O problema surge muitas vezes quando os dados de que dispomos não têm a precisão necessária. Isto passou-se no trabalho conjunto com os químicos de Tarragona de que falei atrás. Temos então de encontrar um método de medição que produza melhores resultados.

Um terceiro aspeto importante é quando tens um fenómeno muito interessante mas vais calcular a probabilidade de ele acontecer e percebes que ronda qualquer coisa da magnitude do 10^{-20} . Percebes imediatamente que pode ser muito interessante mas tem uma importância muito relativa.

GONÇALO Qualquer coisa como a solução em forma de oito para o problemas dos três corpos...

SIMÓ Precisamente! Isso é apenas uma curiosidade.

GONÇALO Como é que vê o futuro da investigação em matemática?

SIMÓ Além de diminuir a separação que temos vindo a discutir entre a teoria e a prática, julgo que no futuro o fundamental é que exista muito mais cooperação interdisciplinar.

GONÇALO Uma última questão. Há uma série de inovações que são desenvolvidas nas universidades. Contudo, vivemos numa sociedade cada vez mais desigual. De que forma podemos garantir que a sociedade lucra, como um todo, com o conhecimento gerado?

SIMÓ Não sei, mas dei há 15 ou 20 anos uma entrevista a um jornal em que dizia que nós, os matemáticos, es-

távamos subaproveitados. Há umas semanas, saiu na imprensa uma estatística que mostrava que, de todos os recém-licenciados, os matemáticos eram os que tinham uma taxa de desemprego mais baixa, rondando os cinco por cento. Julgo que isto reflete a minha certeza de que um matemático pode contribuir para que as coisas melhorem, para que se tornem mais eficientes. E isto poderá acontecer quer em medicina quer em produções agrícolas, no que quer que seja, pois podem contribuir para melhorar a planificação, questões relacionadas com o controlo de qualidade. Há pouco tempo estive em Barcelona um matemático sueco da Universidade de Lund que passa parte do seu tempo no Instituto Pasteur, em Paris. Neste instituto dispõem de grandes quantidades de dados e a questão é saber se se pode fazer algum tipo de classificação. Contudo, para que os matemáticos possam demonstrar a sua utilidade é necessário ir para lá do 'para todo o delta existe um épsilon!' [Risos] E terão de ter a capacidade de comunicar com um físico, que é fácil, com um químico, que é menos fácil, e com um médico, que é muito menos fácil! [Risos] Há 40 anos, um filólogo veio comigo para ver se o podia ajudar a fazer uma análise morfológica de línguas semíticas: árabe, hebreu e aramaico. Disse-lhe que se ele me trouxesse as regras morfológicas e as literações, isso seria o suficiente para o ajudar. E de facto funcionou, mesmo eu não sabendo nada de árabe ou de aramaico. Ele estava consciente de que a matemática poderia ser útil porque tinha feito durante a licenciatura alguns cursos de matemática.

GONÇALO Existe o problema da linguagem...

SIMÓ Sim, a linguagem médica parece complicada mas na verdade tudo está ligado a uma origem etimológica que vem do grego e do latim. No caso da matemática as coisas são muito diferentes. Se vais explicar a um não-matemático o que é uma variedade hiperbólica, essa pessoa irá certamente perder-se nos detalhes. Há que fazer um esforço para encontrar uma linguagem em que todos possam comunicar.

GONÇALO Bem, queria agradecer-lhe o facto de ter encontrado este canto para falarmos um pouco.

SIMÓ O prazer foi todo meu!